

Vorrichtung und Verfahren zur Werkstückbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen

Publication number: DE10229134

Publication date: 2004-01-29

Inventor: GROHMANN BORIS ANDREAS (DE); JAENKER PETER (DE); HERMLE FRANK (DE)

Applicant: GROHMANN BORIS ANDREAS (DE); JAENKER PETER (DE); HERMLE FRANK (DE)

Classification:

- international: **B23B31/36; B23Q1/34; B23Q1/54; B23Q11/00; B23B31/02; B23Q1/25; B23Q1/26; B23Q11/00; (IPC1-7): B23Q5/00**

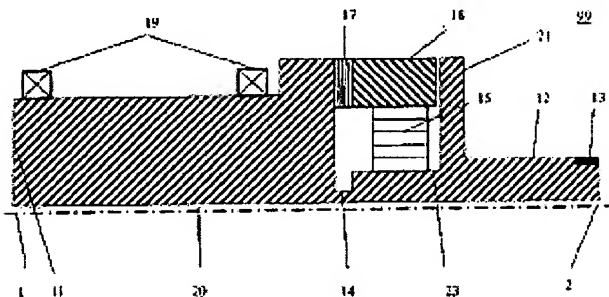
- European: **B23B31/36; B23Q1/34; B23Q1/54B; B23Q1/54C; B23Q11/00C; B23Q11/00D**

Application number: DE20021029134 20020628

Priority number(s): DE20021029134 20020628

Report a data error here

Abstract not available for DE10229134



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 29 134 A1 2004.01.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 102 29 134.9
(22) Anmeldetag: 28.06.2002
(43) Offenlegungstag: 29.01.2004

(51) Int Cl.⁷: B23Q 5/00

(71) Anmelder:
Grohmann, Boris Andreas, Dr., 82024 Taufkirchen,
DE; Jänker, Peter, Dr., 85662 Hohenbrunn, DE;
Hermle, Frank, 81673 München, DE

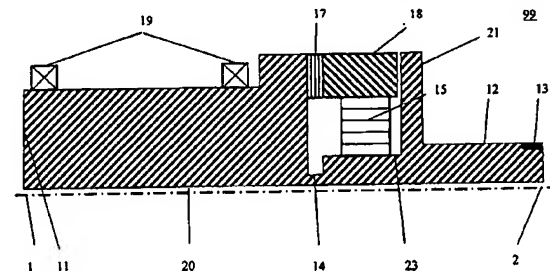
(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Werkstückbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen**

(57) Zusammenfassung: Bei der Werkstückbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen treten in der Bearbeitungsmaschine nach Stand der Technik Verformungen und Schwingungen der mechanischen Komponenten auf. Die neue Vorrichtung und das neue Verfahren sollen eine dynamische Verstellung des rotierenden Werkzeugs bezüglich der Antriebswelle mit Frequenzen bis in die Größenordnung der Drehzahl und darüber hinaus sowie mit Stellwegen bis maximal mehrere Zehntel Millimeter ermöglichen, um die Fertigungsgenauigkeit des Werkstücks zu erhöhen, auftretende Schwingungen zu reduzieren, die mechanischen Belastungen der Werkzeugmaschine zu verringern oder eine vorgegebene Kontur, Welligkeit bzw. Musterung der bearbeiteten Werkstückoberfläche zu erreichen, oder insbesondere bei der zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide den Schnittprozess aktiv zu stabilisieren, Instabilitäten (Rattern) zu reduzieren und die Prozeßsicherheit zu erhöhen.

Zu diesem Zweck wird das rotierende Werkzeug (12) durch eine im drehenden System zwischen Antriebswelle (11) und Werkzeug (12) angebrachte Verstelleinheit bezüglich der Antriebswelle (11) dynamisch bewegt. Als Stellelemente (15) können Festkörperstellelemente, insbesondere vorgespannte Piezostellelemente verwendet werden. Zwischen Antriebswelle (11) und Werkzeug (12) befindet sich mindestens ein Gelenk (14). Zur Trennung der unterschiedlichen Lastpfade und zur Erreichung ...



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung sowie ein Verfahren zur Werkstückbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen womit es möglich ist, die Fertigungsgenauigkeit des Werkstücks zu erhöhen, auftretende Schwingungen zu reduzieren, die mechanischen Belastungen der Werkzeugmaschine zu verringern oder eine vorgegebene Kontur, Welligkeit bzw. Musterung der bearbeiteten Werkstückoberfläche zu erreichen, oder insbesondere bei der zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide den Schnittprozess aktiv zu stabilisieren und Instabilitäten (Rattern) zu reduzieren. Besonders vorteilhaft lassen sich die Vorrichtung sowie das Verfahren in Fräsmaschinen in den Bereichen der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC = High Speed Cutting) und Hochleistungsbearbeitung (HPC = High Performance Cutting) einsetzen.

Stand der Technik

[0002] In der zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit rotierenden Werkzeugen und hier insbesondere beim Fräsen in den Bereichen der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC = High Speed Cutting) und Hochleistungsbearbeitung (HPC = High Performance Cutting) kommt es aufgrund unterschiedlicher Ursachen zu Schwingungen. Dazu gehören exemplarisch:

Schwingungserregung durch Unwuchten verursacht durch die Wuchtgüte und Rundlauf toleranzen der Einzelkomponenten sowie Wechselgenauigkeiten an lösbaren Fügestellen

Erzwungene Schwingungen von Werkzeug und Werkstück durch den unterbrochenen Schnitt der Schneiden des sich drehenden Werkzeugs und die daraus resultierende zeitliche Variation der Schnittkräfte

Instabilitäten, die sich als Ratterschwingungen äußern und als Folge des Regenerativeffektes aus dem Zusammenwirken der Nachgiebigkeit von Werkzeug und Werkstück, dem unterbrochenen Schnitt der rotierenden Schneiden sowie der geometrisch-kinematischen Kopplung aufeinander folgender Schnitte entstehen

[0003] Die auftretenden Schwingungen führen zumindest zu einer ungenauen Werkstückbearbeitung (Toleranzabweichungen, Oberflächenrauigkeiten) und im Extremfall zu einem Bruch des Werkzeugs bzw. des Werkstücks. Weiterhin führen die auftretenden Schwingungsbelastungen in den Lagern der Antriebsspindel zu einer beschleunigten Alterung und im Extremfall zum Ausfall der entsprechenden Lager.

[0004] Weiterhin kommt es aufgrund der Schnittkräfte und der Nachgiebigkeit der beteiligten mecha-

nischen Komponenten zu einer quasi-stationären Abdrängung des Werkzeugs, wodurch Ungenauigkeiten der Werkstückkontur entstehen.

[0005] Bekannt sind passive Maßnahmen zur Schwingungsreduktion durch besondere geometrische Anordnung der Schneiden des Fräswerkzeugs aus DE2533266C2 (Fräsmesserkopf mit ungleicher Schneidenteilung), US005876155A (Method of Eliminating Chatter in Plunge Cutting with Cutters at different Diameters and Depths), US 20010041105A1 (Milling Tool having Cutting Members with Different Clearance Angles) und JP2000000714A (Unequally Dividing Cutter). Die optimierte Werkzeuggeometrie ist hierbei immer eine Speziallösung für eine bestimmte Maschine und einen definierten Bearbeitungsprozess (Drehzahl, Zähnezahl, Ratterfrequenz).

[0006] Bekannt ist aus der von Dr.-Ing. Wilhelm Hagemeyer an der RWTH Aachen im Jahre 1999 angefertigten Dissertation „Auslegung von hochdynamischen servohydraulischen Antrieben für eine aktive Frässpindellagerung“ eine aktive hydraulische Lagerung einer Frässpindel. Aufgrund der hydraulischen Stellglieder und der Masse der Spindel ergibt sich eine Einschränkung auf niedrige Schwingungsfrequenzen.

[0007] Bekannt ist eine Werkzeugmaschine mit piezoelektrischer Positionskorrektur einrichtung nach DE19859360A1, bei der die gesamte Arbeitsspindel oder der Werkstücktisch inklusive Werkstück mittels Piezostellelementen dynamisch parallel verschoben oder verkippt werden können. Ziel ist der Ausgleich von thermischen Verformungen, geometrischen Positionsfehlern, Verformungen/Verlagerungen aufgrund wirkender Kräfte, Werkzeugmaßschwankungen und die aktive Schwingungstilgung. Dadurch, dass die Piezostellelemente im nicht drehenden System angeordnet sind und die gesamte Arbeitsspindel der Bearbeitungseinheit durch die Piezostellelemente bewegt wird, ist der Frequenzbereich auf niederfrequente Schwingungen der Werkzeugmaschine im Bereich 10–20 Hz beschränkt. Zur höherfrequenten Bewegung werden aufgrund der großen Masse und somit Trägheit der gesamten Arbeitsspindel große Lagerkräfte benötigt. Zur Bekämpfung hochfrequenter Schwingungen aufgrund Instabilitäten (Rattern) ist weiterhin der Angriffspunkt der Piezostellelemente zu weit von der Wirkstelle und dem Werkzeug entfernt.

[0008] Bekannt ist außerdem aus der Abschlusspräsentation PARALIX & HIPERSPIN vom 03.04.2001 die von F. Scheurer am Zentrum für Fertigungstechnik (ZFS) der Universität Stuttgart vorgestellte Hochleistungsspindel mit aktivem Auswuchtsystem, bei dem Piezostellglieder im drehenden System zur Korrektur von Unwucht und Geometriefehlern angeordnet sind. Aufgrund der Kinematik und der Hebelverhältnisse des in die Werkzeugaufnahme Hohlschaftkegel (HSK) nach DIN69893 integrierten Biegeaktuators ergibt sich eine Beschränkung der

Wirksamkeit auf Rundheitsfehler im Bereich 6 μm bzw. Restunwuchten im Bereich $\pm 2 \mu\text{m}$.

Aufgabenstellung

[0009] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es somit, eine Vorrichtung und ein Verfahren anzugeben, womit es bei der Werkstückbearbeitung mit rotierendem Werkzeug möglich ist, auftretende Ungenauigkeiten oder Schwingungen zu reduzieren, die mechanischen Belastungen der Werkzeugmaschine zu verringern oder eine vorgegebene Kontur bzw. Welligkeit der bearbeiteten Werkstückoberfläche zu erreichen, oder insbesondere bei der zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide den Schnittprozess aktiv zu stabilisieren und Instabilitäten (Rattern) zu reduzieren.

[0010] Die Aufgabe wird bei einer Vorrichtung der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das rotierende Werkzeug bezüglich der Antriebswelle beweglich angeordnet ist. Dies beinhaltet die

Verkipfbarkeit der Längsachse des rotierenden Werkzeugs bezüglich der Drehachse der Antriebswelle

Translation der Längsachse des rotierenden Werkzeugs quer zur Drehachse der Antriebswelle (Versatz)

axiale Translation des rotierenden Werkzeugs relativ zur Drehachse der Antriebswelle

Rotation des rotierenden Werkzeugs um die Drehachse der Antriebswelle mit oder entgegen der Drehrichtung des Antriebsmotors

[0011] Es kann eine einzelne oder eine Kombination der oben aufgeführten Beweglichkeiten zur Anwendung kommen.

[0012] Zu diesem Zweck ist zwischen Antriebsmotor und Werkzeug eine dynamische Verstelleinheit angebracht, die mit Frequenzen bis in die Größenordnung der Drehzahl und darüber hinaus arbeitet. Die erfindungsgemäße Vorrichtung befindet sich also im drehenden System und rotiert mit der Drehzahl von Antriebswelle und Werkzeug. Die Verstelleinheit kann mit der Welle der Antriebsspindel eine feste Einheit bilden oder aber mit dieser für einen schnellen manuellen oder automatisierten Austausch mittels einer Schnittstelle lösbar verbunden sein. Entsprechend kann die Verstelleinheit mit dem rotierenden Werkzeug eine feste Einheit bilden oder aber mit diesem für einen schnellen manuellen oder automatisierten Austausch mittels einer Schnittstelle lösbar verbunden sein.

[0013] Erfindungsgemäß wird durch diese Anordnung eine Möglichkeit geschaffen, zu jedem Zeitpunkt die Massenverteilung der rotierenden Teile relativ zur Drehachse der Antriebswelle sowie die Position des Werkzeugs bezüglich des Werkstücks zu be-

einflussen und insbesondere bei der zerspanenden Bearbeitung die Position der Schneiden relativ zum Werkstück zu verändern und somit den Schnittprozess sowie die resultierende Werkstückkontur zu beeinflussen.

[0014] Um das Werkzeug bezüglich der Antriebswelle bewegen zu können, ist zwischen Antriebswelle und Werkzeug mindestens ein Gelenk eingebaut, das als formschlüssiges Gelenk oder als Festkörpergelenk ausgebildet sein kann. Weiterhin ist in der Gelenkverbindung die Anbringung einer Bohrung für die Zufuhr von Kühlmittel zum Werkzeug möglich.

[0015] In einer bevorzugten Ausführungsform wird zur Trennung der unterschiedlichen Lastpfade und zur Erreichung einer möglichst großen Steifigkeit eine Federlamellenkupplung eingesetzt. Damit wird eine spielfreie Kraftübertragung erreicht.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform wird eine Federlamellenkupplung in Kombination mit einem weiteren Festkörpergelenk eingesetzt.

[0017] Die Stellelemente können sowohl axial, radial oder beliebig geneigt bezüglich der Drehachse der Spindelwelle angeordnet werden.

[0018] In Umfangsrichtung ist mindestens ein Stellelement angeordnet. Im Falle einer geraden Anzahl von Stellelementen liegen sich diese paarweise gegenüber. Möglich sind aber auch Ausführungen mit ungerader Anzahl Stellelemente, wobei sich diese nicht paarweise gegenüberliegen. In besonders vorteilhafter Ausgestaltung weist die erfindungsgemäße Vorrichtung bezüglich der Stellelemente eine einfache oder höhere Symmetrieanordnung hinsichtlich der Längsachse der Antriebsspindel auf.

[0019] Für den Stellantrieb eignen sich im besonderen Maße Festkörperaktuatoren wie beispielsweise piezoelektrische Stellelemente, welche sich unter anderem durch eine hohe Stellgeschwindigkeit und mechanische Steifigkeit auszeichnen.

[0020] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Piezostellelemente im vorgespannten Zustand zwischen Werkzeug und Antriebswelle eingebaut. Damit kann das Auftreten von lebensdauerschädigenden Zugspannungen in den Stellelementen verhindert werden.

[0021] Dabei sind sie bevorzugt derart angeordnet, dass die Vorspannung der Piezostellelemente einfach eingestellt werden kann, dass thermische Dehnungen in den passiven Bauteilen der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht zu einem unerwünschten Verlust der Piezovorspannung führen und dass die Rotation der erfindungsgemäßen Vorrichtung bei hohen Drehzahlen keine ungünstigen mechanischen Belastungen in den Piezostellelementen hervorruft.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Stellelemente zumindest teilweise von einem Rahmen umschlossen. Dieser Rahmen nimmt die auftretenden Fliehkräfte auf und stellt insbesondere bei Verwendung von Piezostellelementen die ausreichende Vorspannung der Piezostellelemente sicher.

[0023] Zur Erhöhung der Steifigkeit und zur Verbes-

serung der Krafteinleitung durch die Stellelemente stützt sich dieser Rahmen in besonders vorteilhafter Ausgestaltung gegen die angrenzenden Bauteile der Antriebsspindel, des Festkörpergelenkes und der Werkzeugaufnahme ab. Dieser Rahmen kann ein- oder mehrstöckig sein, vorteilhafterweise ist er aber einstöckig, um eine kompakte Bauweise zu ermöglichen, eine einfache Krafteinleitung zu gewährleisten und die Rundlaufgenauigkeit sowie Wuchtgüte zu erhöhen.

[0024] Der folgende Teil der Beschreibung bezieht sich auf den verfahrenstechnischen Teil.

[0025] Bei Bearbeitungsmaschine nach Stand der Technik treten im Grenzbereich Verformungen der mechanischen Komponenten auf, die sich am Werkzeug als Verschiebungen mit einer Größe bis maximal mehrere Zehntel Millimeter bemerkbar machen können.

[0026] Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein geeignetes Steuer- bzw. Regelungsverfahren die Bewegung des rotierenden Werkzeugs bezüglich der Antriebswelle dynamisch derart durchführt, dass den passiven Verformungen eine zusätzliche Bewegung des Werkzeugs relativ zur Antriebswelle überlagert wird, die den unerwünschten Ungenauigkeiten oder Schwingungen entgegenwirkt, insbesondere bei der zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide zu einer Stabilisierung des Schnittprozesses führt und Instabilitäten (Rattern) reduziert. Ausserdem kann durch Überlagerung einer geeignet vorgegebenen Bewegung des Werkzeugs mit der rotationsbedingten Kreisbewegung der Schneiden entsprechend der geometrischen Anordnung der Schneiden auf dem Werkzeug eine spezielle Kontur, Welligkeit bzw. Musterung der bearbeiteten Werkstückoberfläche erreicht werden. Weiterhin führt die Bewegung des rotierenden Werkzeugs bezüglich der Antriebswelle bei hochfrequenter Ansteuerung zu Trägheitseffekten und insbesondere bei hohen Drehzahlen der Spindel zu Kreiseffekten. Diese können vorteilhaft zur Beeinflussung der in der Antriebsspindel und deren Lagern auftretenden dynamischen Lasten ausgenutzt werden.

[0027] Zu diesem Zweck kann eine im zeitlichen Ablauf vorbestimmte Bewegung auch unter Rückgriff auf in Kennfeldern gespeicherte Parameter angesteuert werden.

[0028] Eine bevorzugte Ausführung des Verfahrens besteht in einem informationstechnisch geschlossenen Wirkkreis aus den Betriebszustand erfassenden Sensoren, einer Recheneinheit und der Verstelleinheit. In diesem Zusammenhang geeignete Größen zur Beschreibung des Betriebszustandes erfassen den Verformungs-, Belastungs-, Schwingungs- sowie den Erwärmungszustand. Diese Größen können mittels mechanischer, elektromechanischer, thermo-elektrischer, optischer, kapazitiver, induktiver

oder ohmscher Messaufnehmer erfasst werden.

[0029] In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Sensoren und Aktoren zur Erfassung des mechanischen Zustandes örtlich zusammengefasst (Kollokation). Dies wirkt sich vorteilhaft auf die Stabilität des Regelalgorithmus aus. In einer besonders vorteilhaften Ausgestaltung werden daher Piezostellelemente auch gleichzeitig als Sensoren verwendet.

Ausführungsbeispiel

[0030] Die Erfindung wird im folgenden anhand von Figuren näher beschriebenen Ausführungsbeispielen dargestellt, aus denen sich weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorzüge ergeben. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung. Die Erfindung ist in den Figuren schematisch dargestellt, so dass die wesentlichen Merkmale der Erfindung gut zu erkennen sind. Die Darstellungen sind nicht notwendigerweise maßstäblich zu verstehen.

[0031] Es zeigt:

[0032] **Fig. 1** eine schematische Darstellung der Wirkungsweise einer Vorrichtung zur Verkipfung der Längsachse des Werkzeugs gegenüber der Drehachse der Antriebswelle;

[0033] **Fig. 2** eine schematische Darstellung der Wirkungsweise einer Vorrichtung zur Verkipfung und Parallelversetzung der Längsachse des Werkzeugs gegenüber der Drehachse der Antriebswelle;

[0034] **Fig. 3** eine schematische Darstellung der Wirkungsweise einer Vorrichtung zur axialen Translation des Werkzeugs gegenüber der Antriebswelle;

[0035] **Fig. 4** eine nicht maßstäbliche Darstellung eines Schnittes in Längsrichtung durch ein Ausführungsbeispiel einer Spindel mit integrierter Vorrichtung zur Verkipfung der Längsachse des Werkzeugs gegenüber der Drehachse der Antriebswelle; und

[0036] **Fig. 5** eine schematische Darstellung eines Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0037] In **Fig. 1** ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Verkipfung der Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 schematisch dargestellt.

[0038] Die Vorrichtung rotiert gemeinsam mit der Antriebswelle 11 und dem Werkzeug 12 mit der Winkelgeschwindigkeit ω um die Drehachse 1 (Rotationsrichtung mit Pfeil angedeutet, ebenso ist aber auch Rotation in die entgegengesetzte Richtung möglich).

[0039] Das Werkzeug 12 ist über eine Werkzeugaufnahme 22 mit der Antriebswelle 11 verbunden. Zwischen Werkzeugaufnahme 22 und Antriebswelle

11 befindet sich das Biegegelenk 14. Dieses ist zwar biegeweich bezüglich einer Verkipfung der Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11, aber möglichst steif gegenüber Längs- und Querkraften sowie des Antriebsmomentes, d.h. in Drehrichtung der Antriebswelle ausgeführt. Parallel zum Biegegelenk ist ein Paar Stellelemente 15 und 16 in axialer Richtung, d.h. parallel zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11 angeordnet. Sie arbeiten als Gegenspieler und können gegeneinander vorgespannt werden. Werden die Stellelemente 15 und 16 entgegengesetzt angesteuert, d.h. wie in der Figur beispielhaft dargestellt das Stellelement 15 gedehnt und das Stellelement 16 kontrahiert, so resultiert eine Verbiegung des Biegegelenks 14 mit der entsprechenden Verkipfung der Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11, die sich an den Schneiden 13 des Werkzeugs 12 als Verschiebung quer zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11 auswirkt.

[0040] In Fig. 2 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Verkipfung und Parallelversetzung der Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 schematisch dargestellt.

[0041] Das Werkzeug 12 ist über eine Werkzeugaufnahme 22 mit der Antriebswelle 11 verbunden. Zwischen Werkzeugaufnahme 22 und Antriebswelle 11 befindet sich das Gelenk 14. Es lässt sowohl Versetzungen quer als auch Verkipfungen relativ zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11 zu. Bezüglich Längskräften und eines Antriebsmomentes in Drehrichtung der Antriebswelle 11 ist es möglichst steif ausgelegt. Weiterhin sind zwischen Werkzeugaufnahme 22 und Antriebswelle 11 die Stellelemente 15, 15a, 16 und 16a in radialer Richtung, d.h. senkrecht zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11 angeordnet. Die Stellelemente sind paarweise als Gegenspieler ausgebildet (15 gegen 16 und 15a gegen 16a) und können gegeneinander vorgespannt werden.

[0042] In Fig. 2 sind die beiden Grundformen der Aktuierung dargestellt. Werden beispielsweise die beiden Stellelemente 15 und 15a gemeinsam kontrahiert, hingegen 16 und 16a gedehnt, so ergibt sich der dargestellte Querversatz des Werkzeugs 12 gegenüber der Antriebswelle 11, wobei die Längsachse 2 des Werkzeugs 12 parallel zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11 bleibt. Werden hingegen beispielsweise die beiden Stellglieder 15 und 16a gemeinsam kontrahiert, hingegen 16 und 15a gedehnt, so ergibt sich die dargestellte Verkipfung der Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11. Eine kombinierte Ansteuerung der Verkipfung und Parallelversetzung ist möglich und nur durch die maximalen Stellwege der Stellelemente 15, 15a, 16 und 16a beschränkt.

[0043] In Fig. 3 ist eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur axialen Translation des Werkzeugs 12 gegenüber der Antriebswelle 11 schematisch dargestellt.

[0044] Das Werkzeug 12 ist über eine Werkzeugaufnahme 22 mit der Antriebswelle 11 verbunden. Zwischen Werkzeugaufnahme 22 und Antriebswelle 11 befindet sich das Biegegelenk 14. Dieses lässt Versetzungen der Werkzeugaufnahme 22 in Richtung der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 zu, ist aber möglichst steif gegenüber Querkraften sowie des Antriebsmomentes ausgeführt. Parallel zum Biegegelenk ist ein Paar Stellelemente 15 und 16 in axialer Richtung, d.h. parallel zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11 angeordnet. Werden die Stellelemente 15 und 16 gemeinsam angesteuert, d.h. wie in der Figur beispielhaft dargestellt gedehnt, so resultiert eine axiale Translation des Werkzeugs 12 gegenüber der Antriebswelle 11.

[0045] Für die erfindungsgemäßen Vorrichtungen entsprechend den Fig. 1-3 können beliebige Werkzeugschnittstellen 22 verwendet werden. Bevorzugt werden aber Werkzeugschnittstellen 22 mit geringer Baulänge und kleiner zusätzlicher Masse eingesetzt, um den Hebelarm der Schnittkraft zu minimieren, das Massenträgheitsmoment der durch die Stellelemente 15 und 16 (sowie gegebenenfalls 15a und 16a) abgestützten und bewegten Komponenten zu verringern sowie die kritische Drehzahl der gesamten, erfindungsgemäßen Anordnung zu maximieren.

[0046] In den Fig. 1-3 ist jeweils ein Längsschnitt der Vorrichtungen dargestellt. Die Vorrichtungen sind jeweils symmetrisch bezüglich der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 wobei die Stellelemente 15, 15a, 16 und 16a sich paarweise gegenüberliegen und paarweise als Gegenspieler arbeiten (15 gegen 16 und 15a gegen 16a), woraus sich eine gerade Anzahl von Stellelementen in Umfangsrichtung und eine entsprechend geradzahlige Rotationssymmetrie bezüglich der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 ergibt. Möglich sind aber auch ungerade Anzahlen der Stellelemente in Umfangsrichtung, wobei sich die Stellelemente nicht paarweise gegenüberliegen, mit einer entsprechend einfachen, dreifachen, oder noch höheren Rotationssymmetrie bezüglich der Drehachse 1 der Antriebswelle 11.

[0047] In Fig. 4 ist ein Ausführungsbeispiel einer Spindel mit integrierter Vorrichtung zur Verkipfung der Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 nicht maßstäblich als Schnitt in Längsrichtung dargestellt.

[0048] Die Antriebswelle 11 der Bearbeitungseinheit ist über geeignete Lagereinheiten 19 drehbar um die Drehachse 1 gelagert. Der Antriebsmotor ist der Einfachheit halber nicht dargestellt. Es handelt sich hierbei um eine an sich bekannte Motorspindel.

[0049] Das Werkzeug 12 ist im Inneren über das Festkörper-Biegegelenk 14 mit der Antriebswelle 11 verbunden. Sowohl Antriebswelle 11 als auch Werkzeug 12 und Festkörper-Biegegelenk 14 besitzen eine Bohrung 20 zur Kühlmittelzufuhr von der Rückseite der Antriebswelle 11 zum Werkzeug 12.

[0050] Die eigentliche Verstelleinheit wird durch die Piezostellelemente 15, das Festkörper-Biegegelenk

14, den Rahmen 18, die Federlamellenkupplung 17 und die Abstützung 21 gebildet. Die Federlamellenkupplung 17 verbindet die Antriebswelle 11 mit der Abstützung 21 und ist biegeweich bezüglich einer Verkipfung der Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 um das Festkörper-Biegegelenk 14, aber steif gegenüber Querkräften sowie des Antriebsmomentes, d.h. in Drehrichtung der Antriebswelle, ausgeführt.

[0051] Die Piezostellelemente 15 sind zwischen dem Sockel 23 und dem Rahmen 18 unter Vorspannung angeordnet. Die Richtung der aktiven Dehnung der Piezostellelemente 15 ist radial, d.h. senkrecht zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11. Der Rahmen 18 stützt sich über die Federlamellenkupplung 17 an der Antriebswelle 11 ab und ist möglichst steif ausgeführt. Die Kraft der Piezostellelemente 15 wird werkzeugseitig über den Sockel 23 eingeleitet, d.h. die aktive lineare Dehnung der Piezostellelemente 15 wird entsprechend dem Abstand der Piezostellelemente 15 vom Festkörper-Biegegelenk 14 in eine Verdrehung des Sockels 23 um das Festkörper-Biegegelenk 14 umgewandelt, sodass die Längsachse 2 des Werkzeugs 12 gegenüber der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 verkippt wird. Die resultierende Verschiebung der Schneiden 13 des Werkzeugs 12 ergibt sich aus der aktiven linearen Dehnung der Piezostellelemente und dem Hebelverhältnis, das sich aus dem axialen Abstand der Schneiden 13 vom Festkörper-Biegegelenk 14 und dem axialen Abstand der Piezostellelemente 15 vom Festkörper-Biegegelenk 14 ergibt. Durch vorteilhafte Ausnutzung der geometrischen Längenverhältnisse wird hierbei eine vorteilhafte Hebelwirkung erzielt.

[0052] Die Anordnung ist rotationssymmetrisch bezüglich der Drehachse 1 der Antriebswelle 11, wobei eine gerade oder ungerade Anzahl von Piezostellelementen 15 in Umfangsrichtung möglich ist, woraus sich entsprechend eine einfache, zweifache oder noch höhere Rotationssymmetrie ergibt. In einer bevorzugten Ausführungsform sind vier Piezostellelementen 15 in Umfangsrichtung angeordnet, woraus sich eine entsprechend vierfache Rotationssymmetrie bezüglich der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 ergibt. In einer Schnittebene senkrecht zur Drehachse 1 der Antriebswelle 11 entspricht dies einer kreuzförmigen Anordnung der Piezostellelementen 15.

[0053] Der Teil der erfindungsgemäßen Vorrichtung, der aus passivem Material, beispielsweise Stahl, besteht, kann einschließlich der Antriebswelle 11 und dem Werkzeug 12 ein- oder mehrstöckig sein, vorteilhafterweise ist er aber aus Gründen der Fertigung, der Montage der Piezostellelemente 15 sowie der Wechselbarkeit des Werkzeugs 12 mehrstöckig ausgeführt.

[0054] Für die in den Fig. 1–4 dargestellten Vorrichtungen spielt die Drehrichtung der Antriebswelle 11 für die Funktion der Vorrichtung keine Rolle.

[0055] Fig. 5 stellt ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens schematisch dar.

[0056] Das Werkzeug 12 steht über den Schnittprozess 117 und den Regenerativeffekt 115 in Wechselwirkung mit dem Werkstück 116. Durch den Schnittprozess 117 wirkt auf Werkstück 116 und Werkzeug 12 eine wechselseitige Schnittkraft 120. Die resultierenden Werkstückverformungen 112 und Verschiebungen der Werkzeugschneiden 123 ergeben über den Regenerativeffekt 115 die Spandicke 121, die in den Schnittprozess 117 eingeht.

[0057] Es handelt sich hierbei beispielhaft um eine an sich bekannte Wechselwirkung von Werkzeug 12 und Werkstück 116 in der zerspanenden Bearbeitung.

[0058] Das Werkzeug 12, die Stellelemente 15 sowie die Maschine und Spindel 111 sind erfindungsgemäß mechanisch verbunden und stehen somit in mechanischer Wechselwirkungen über mechanische Spannungen und Dehnungen bzw. Kräfte und Verschiebungen. Sowohl das rotierende Werkzeug 12 als auch die rotierenden Teile der Maschine und Spindel 111 werden durch Unwuchten dynamisch erregt. Eine mögliche weitere äußere Erregung ist der Einfachheit halber nicht dargestellt.

[0059] Eine geeignete Sensorik 14a und 14b erfasst den Betriebs-, Verformungs-, Belastungs- und Schwingungszustand von Werkzeug 12 sowie Maschine und Spindel 111. Weiterhin ist auch eine Sensorik 114c zur Erfassung des Verformungs-, Belastungs- und Schwingungszustandes des Werkstücks 116 möglich. Die Messsignale der Sensorik 114a–c werden vom Regler 113 erfasst und als elektrische Ansteuerungssignale an die Stellelemente 15 weitergeleitet.

[0060] Werden als Stellelemente 15 Piezostellelemente eingesetzt, können diese als Sensoren verwendet werden. Hierfür wird die auf die Piezostellelemente 15 wirkende Kraft mittels des Piezoeffektes in den Piezostellelementen 15 als elektrische Spannung registriert und dem Regler 113 zugeführt.

Patentansprüche

1. Vorrichtung 99 zur Werkstückbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen, insbesondere zur zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide **dadurch gekennzeichnet**, dass eine im drehenden System zwischen Antriebswelle 11 und Werkzeug 12 angebrachte Verstelleinheit die dynamische Bewegung des Werkzeugs 12 relativ zur Antriebswelle 11 ermöglicht.

2. Vorrichtung 99 nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Festkörperstellelement 15 zwischen Antriebswelle 11 und Werkzeug 12 angebracht und axial, radial oder beliebig geneigt bezüglich der Drehachse 1 der Antriebswelle 11 angeordnet ist.

3. Vorrichtung **99** nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Festkörperstellelement **15** Piezostellelemente in vorgespanntem Zustand eingesetzt werden.

4. Vorrichtung **99** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Antriebswelle **11** und Werkzeug **12** mindestens ein Gelenk **14** angebracht ist, das als formschlüssiges Gelenk oder als Festkörpergelenk ausgebildet sein kann.

5. Vorrichtung **99** nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Bohrung **20** in der Gelenkverbindung **14** für die Zufuhr von Kühlmittel zum Werkzeug **12** angebracht ist.

6. Vorrichtung **99** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Trennung der unterschiedlichen Lastpfade und zur Erreichung einer möglichst großen Steifigkeit eine Federlamellenkupplung **17** als Biegegelenk eingesetzt wird.

7. Vorrichtung **99** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Federlamellenkupplung **17** in Kombination mit einem Festkörpergelenk **14** als Biegegelenk eingesetzt wird.

8. Vorrichtung **99** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Stellelemente **15** zumindest teilweise von einem Rahmen **18** umschlossen sind, der die auftretenden Fliehkräfte aufnimmt und insbesondere ausreichende Vorspannung für Piezostellelemente sicherstellt.

9. Vorrichtung **99** nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Rahmen **18** sich zur Erhöhung der Steifigkeit und zur Verbesserung der Krafteinleitung durch die Stellelemente gegen die angrenzenden Bauteile der Antriebswelle **11**, des Festkörpergelenkes **14** oder der Werkzeugaufnahme bzw. des Werkzeugs **12** abstützt.

10. Vorrichtung **99** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgangssignale geeigneter Sensoren **114** zur Erfassung des Verformungs-, Belastungs- und Schwingungszustandes sowie sonstigen Betriebszustandes einem geeigneten Regler **113** zum Erzeugen eines Signals zur Ansteuerung der Stellelemente **15** zuführbar sind.

11. Verfahren **98** zur Werkstückbearbeitung mit rotierenden Werkzeugen, insbesondere zur zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide, da-

durch gekennzeichnet, dass das rotierende Werkzeug **12** relativ zur Antriebswelle **11** dynamisch bewegt wird.

12. Verfahren **98** nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass aus geeigneten Messgrößen für den Verformungs-, Belastungs- und Schwingungszustand sowie sonstigen Betriebszustand der Vorrichtung **99** entsprechend einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 10 sowie der damit mechanisch verbundenen Antriebsspindel **11** und des Werkzeugs **12** mit Hilfe eines geeigneten Reglers **113** Signale zur Ansteuerung der einzelnen Stellelemente **15** ermittelt werden.

13. Verfahren **98** nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Stellelemente **15** zur gleichzeitigen Aufnahme des Betriebs-, Verformungs-, Belastungs- und Schwingungszustandes, insbesondere mittels Piezoeffekt, verwendet werden.

14. Verfahren **98** nach Anspruch 11, 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass eine Verbesserung der Fertigungsgenauigkeit des Werkstücks erreicht wird.

15. Verfahren **98** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reduktion von Schwingungen in Werkstück oder Werkzeugmaschine, insbesondere bei der zerspanenden Bearbeitung von Werkstücken aus metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen mit geometrisch bestimmter oder unbestimmter Schneide eine Stabilisierung des Schnittprozesses und eine Reduktion von Instabilitäten (Rattern), erreicht wird.

16. Verfahren **98** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reduktion der in der Antriebsspindel und insbesondere deren Lagern auftretenden Belastungen erreicht wird.

17. Verfahren **98** nach einem oder mehreren der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass durch Überlagerung einer geeignet vorgegebenen Bewegung des Werkzeugs mit der rotationsbedingten Kreisbewegung der Schneiden entsprechend der geometrischen Anordnung der Schneiden auf dem Werkzeug eine spezielle Kontur, Welligkeit bzw. Musterung der bearbeiteten Werkstückoberfläche erreicht wird.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

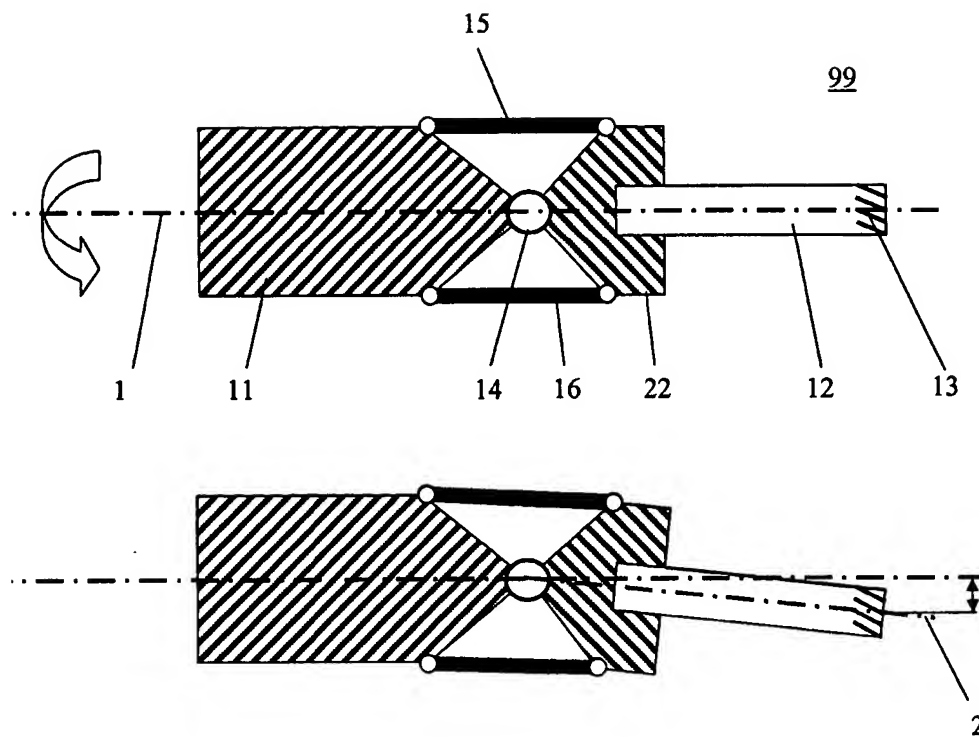


Fig. 2

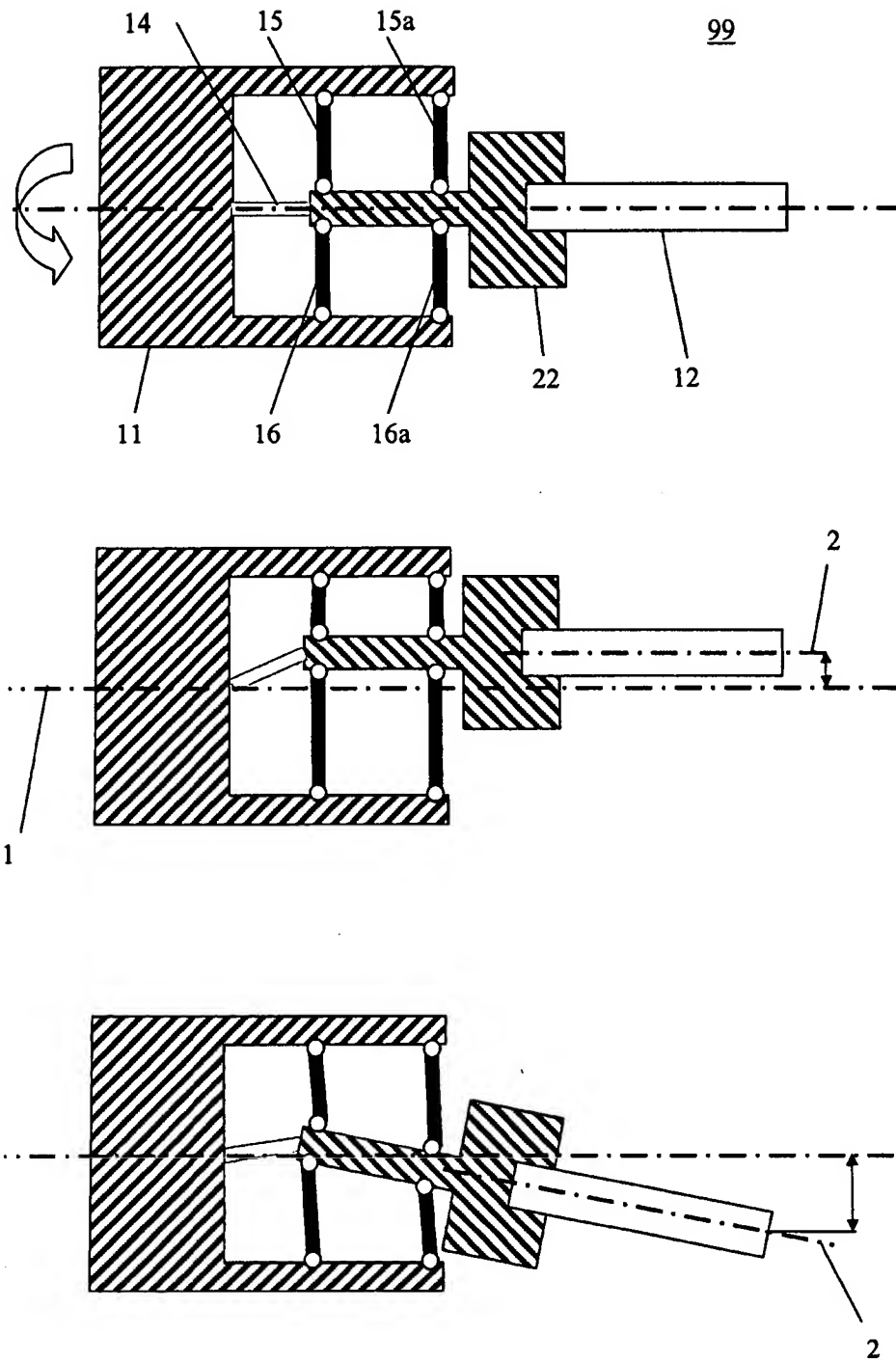


Fig 3

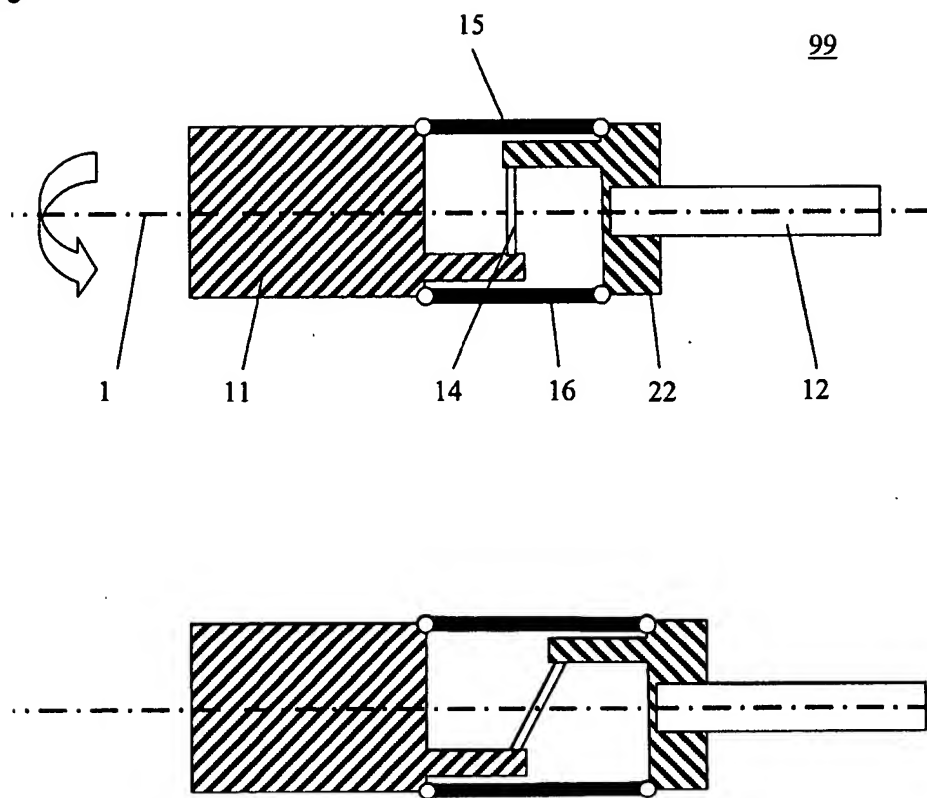


Fig. 4

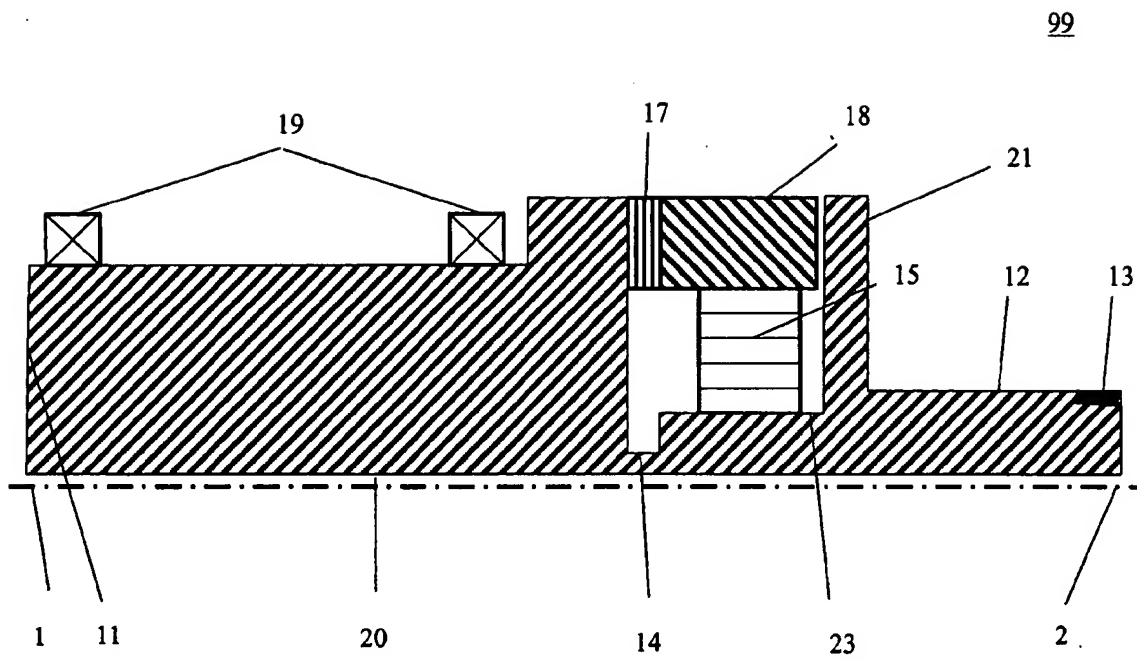


Fig. 5

98

